

ОЦЕНКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ВИДЕОКАМЕР

Дрынкин В.Н., начальник сектора, ФАУ «ГосНИИАС» (Российская Федерация), e-mail: drynkinv@gosniias.ru
Царева Т.И., к.б.н., старший научный сотрудник, ФАУ «ГосНИИАС» (Российская Федерация),
e-mail: tsareva@gosniias.ru

EVALUATION OF VIDEO CAMERAS SENSITIVITY

Drynkin V.N., Tsareva T.I.

The paper describes an algorithm for assessing the sensitivity of video cameras in the spectral domain based on calculating the signal-to-noise ratio from the distribution of the spectral power density of the signal and noise in real video images. The advantages of the proposed algorithm in comparison with other approaches are demonstrated. It is noted that the implementation of the algorithm as an element of a video surveillance system will make it possible to correctly determine the moment when the signal/noise level decreases below a certain threshold when the scene illumination decreases to automatically turn on the high sensitivity mode of video cameras.

Key words: digital image processing, signal-to-noise ratio, increasing the sensitivity of video cameras, binning, restoration of spatial resolution.

Ключевые слова: цифровая обработка изображений, отношение сигнал/шум, повышение чувствительности видеокамер, биннинг, восстановление пространственного разрешения.

Введение

Чувствительность является одной из важнейших характеристик видеокамер и определяется минимальным значением уровня полезного сигнала на входе, при котором на выходе устройства еще обеспечивается допустимое отношение сигнал/шум (ОСШ) [1]. Важно ее знать, уметь оценивать и по возможности регулировать. При невозможности регулировки чувствительности съемочные возможности видеокамер сильно зависят от условий съемки, времени суток, времени года и т.п. В результате наступает момент, когда камера перестает «видеть».

В системах видеонаблюдения под чувствительностью часто понимают минимальную освещенность (или минимальное значение отверстия диафрагмы), при которой обеспечивается заданное качество изображения [2]. При этом на выходе матрицы видеокамеры формируется минимальный уровень сигнала, который можно измерить приборами. Но такой подход возможен только в лабораторных условиях [3]. На практике чувствительность оценивают по изображениям, формируемым видеокамерой.

Оценка чувствительности по контрасту и статистическим характеристикам изображений

В первом приближении чувствительность видеокамеры можно оценивать по контрасту сцены, например [4]:

$$K = \frac{B_{\max} - B_{\min}}{D} 100\%, \quad (1)$$

где B_{\max} , B_{\min} – усредненные значения яркостей в самой светлой и самой темной областях изображения, D – максимальный диапазон яркостей. Для полутонового вось-

Изложен алгоритм оценки чувствительности видеокамер в спектральной области на основе вычисления отношения сигнал/шум по распределению спектральной плотности мощности сигнала и шума в реальных видеоизображениях. Продемонстрированы преимущества предложенного алгоритма в сравнении с другими подходами. Отмечается, что реализация алгоритма, как элемента видеосистемы наблюдения, позволит правильно определять момент снижения уровня сигнал/шум ниже некоторого порога при снижении освещенности сцены для автоматического включения режима повышенной чувствительности видеокамер.

мибитного изображения значение $D = 255$. Однако при использовании в видеокамерах автоматических регулировок усиления такая оценка дает некорректный результат.

Наиболее часто чувствительность оценивают по ОСШ. Отношение уровня радиосигнала к шуму, распределенному в видеоканале, напрямую влияет на качество изображения.

В большинстве случаев для оценки чувствительности по ОСШ используют измерение статистических характеристик изображений видеокамеры [5, 6]:

$$SNR = \frac{\mu_{sig}}{\sigma_{sig}}, \quad (2)$$

где μ_{sig} – среднее значение сигнала изображения;

σ_{sig} – стандартное отклонение сигнала изображения.

Однако, если описанный подход позволяет достаточно объективно оценивать ОСШ для тестовых изображений и искусственно внесенных шумов, то для реальных видеоизображений подобная формальная эквивалентность стандартного отклонения в качестве меры шума, показывающей насколько выбранные пиксели отличаются от средней величины, характеризующей полезный сигнал, может быть лишена смысла, так как не учитывает пространственные зависимости яркостей элементов реального изображения и особенности их зрительного восприятия.

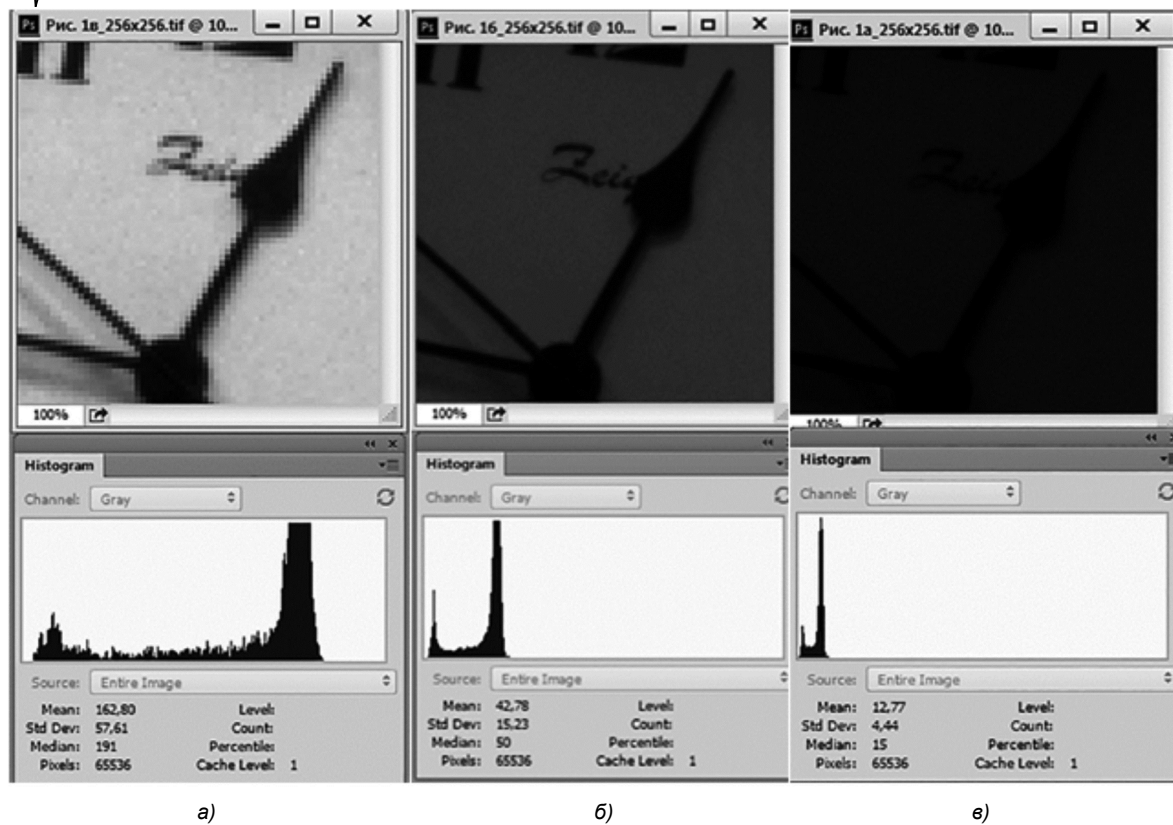


Рис. 1. Фрагменты изображений с разным уровнем сигнала

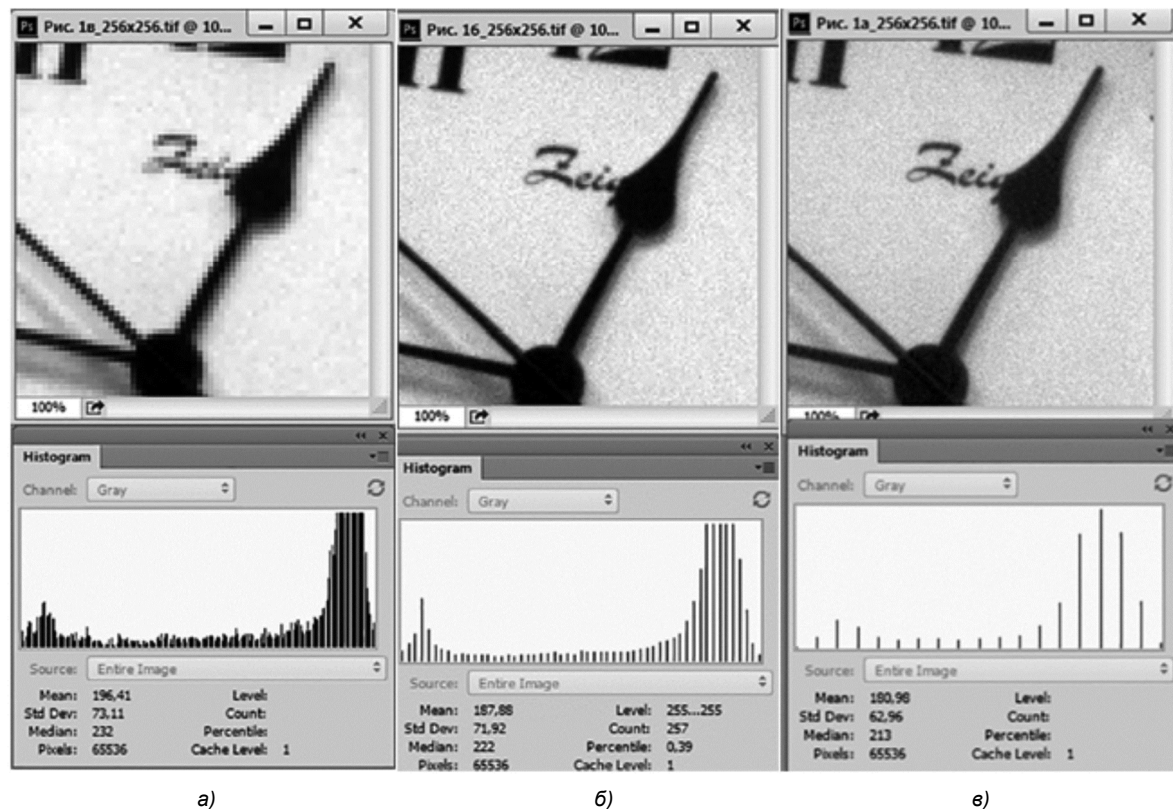


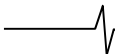
Рис. 2. Фрагменты изображений с автотонном

Проиллюстрируем рассмотренные подходы к оценке чувствительности. На рис. 1 приведены фрагменты изображений с разным уровнем полезного сигнала, полученные видекамерой без автоматических регулировок.

Расчет ОСШ по формуле (2) дает практически одинаковый результат: 2,8; 2,8; 2,9, хотя мы видим, что сиг-

нал становится слабее: контраст, рассчитанный по формуле (1), дает значения 79,2 %; 20,8 % и 6,7 % для фрагментов а), б) и в) соответственно.

Если же применить к фрагментам а), б) и в), изображенным на рис. 1, автоматическую регулировку тона (автотон) (рис. 2), то контраст становится одинаковым,



практически равным 100 % (см. гистограммы).

Приведенные результаты демонстрируют тот факт, что показатель контраста K (1) и ОСШ SNR , рассчитанное по статистическим характеристикам изображений (2), не дают адекватной оценки чувствительности видеокамер и побуждают искать другие подходы к оценке чувствительности.

Оценка чувствительности по ОСШ в спектральной области

Случайный шум датчика видеосигнала представляет собой сложный шум, который образуется как за счет внутренних свойств датчика, так и за счет возбуждения фотоприемника от воздействия излучения различных источников. Такой шум считают аддитивным нормальным некоррелированным в ограниченной полосе частот шумом [7].

Формально изображение на выходе датчика видеосигнала матричного типа можно описать функцией вида [7, 8]

$$f(x, y, t) = S(x, y, t) + \xi(x, y, t), \quad (3)$$

где $f(x, y, t)$ – функция изменения яркости в точке (x, y) на выходе видеодатчика; $S(x, y, t)$ – полезная составляющая сигнала изображения; $\xi(x, y, t)$ – шумовая составляющая на выходе видеодатчика; t – временная координата или индекс текущего кадра изображения.

Отметим основные особенности выражения (3). Во-первых, шумовая составляющая $\xi(x, y, t)$ представляет собой не весь сложный шум, а только его высокочастотную ВЧ компоненту, которую вследствие ее аддитивности легко можно отделить от полезного сигнала с целью, например, подавления различными методами фильтрации на этапе предварительной обработки или для вычисления ОСШ. Во-вторых, низкочастотная компонента шума, как правило, находится в области существования спектра полезного сигнала изображения, задача выделения ее из полезного сигнала представляет собой отдельную проблему и в данной работе не рассматривается. Поэтому в дальнейшем под шумом будем понимать ВЧ аддитивный шум $\xi(x, y, t)$.

На рис. 3 в качестве примера для плоскости пространства изображения в области нормированных «горизонтальных» $v_x = \frac{\Omega_x}{2\pi/2X}$ и «вертикальных»

$v_y = \frac{\Omega_y}{2\pi/2Y}$ пространственных частот показан фрагмент модуля двумерного дискретного спектра одного видеокadra реального изображения $\hat{\rho}(v_x, v_y)$, формируемого видеодатчиком матричного типа. Здесь Ω_x , Ω_y – частота элементов и частота строк соответственно, X , Y – межэлементные и межстрочные интервалы дискретизации. Белыми линиями ограничена область существования основного спектра формируемого изображения кадра D_0 , черными линиями показаны границы ближайших побочных спектров дискретизации, между

которыми сосредоточен аддитивный ВЧ шум. Наибольшую интенсивность ВЧ шум имеет в областях, обозначенных черными кружочками.

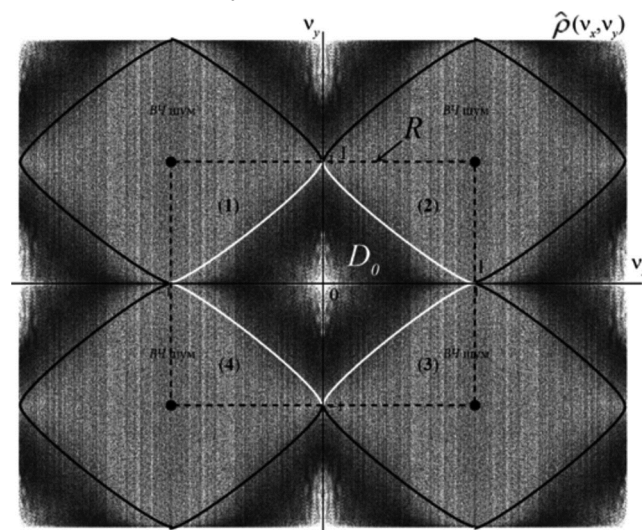


Рис. 3. Дискретный спектр видео кадра с ВЧ шумом

При формировании изображения видеокамерой из дискретного спектра выделяется основной спектр, расположенный в начале координат $(v_x, v_y) = (0, 0)$, с помощью двумерного фильтра нижних частот (ФНЧ) формирующей системы видеодатчика и подавляются все побочные составляющие дискретного спектра [9].

Матричный фотоприемник при формировании изображения действует как фильтр пространственных частот с частотной характеристикой вида [10]

$$K(v_x, v_y) = \frac{\sin(\pi a v_x)}{\pi a v_x} \frac{\sin(\pi a v_y)}{\pi a v_y}, \quad (4)$$

где a – линейный размер элемента (площадь элемента $A = a \times a$).

Поскольку пространственно-частотная характеристика (ПЧХ) формирующего изображение фильтра (4) представляет собой прямое произведение одномерных функций, то такой фильтр имеет область пропускания в виде прямоугольника, схематично изображенного на рис. 3 пунктиром, которая охватывает все частотное пространство нормированных частот $R: |v_1| \leq 1, |v_2| \leq 1$.

Как видим из рисунка ближайшие к основному спектру компоненты ВЧ шума (1), (2), (3) и (4) также будут присутствовать на формируемом изображении. На рис. 4 показан кадр сформированного видео датчиком изображения с ВЧ шумом.



Рис. 4. Видеокادر с ВЧ шумом, полученный при низкой освещенности

Исследования показывают (см., например, рис. 3), что все частотное пространство нормированных частот R видеокadra разделяется на область существования основного спектра формируемого изображения D_0 , близкую к ромбической, и область существования ВЧ аддитивного шума $R \setminus D_0$.

Метод оценки чувствительности видеокамер по ОСШ в частотной области основан на анализе распределения спектральной плотности мощности сигнала и шума в реальных видеоизображениях. При этом ОСШ SNR_{TB} предлагается вычислять по формуле [11]:

$$SNR_{TB} = 10 \lg \frac{\iint_{D_0} |\rho_{TB}(v_1, v_2)| dv_1 dv_2}{\iint_{R \setminus D_0} |\rho_{TB}(v_1, v_2)| dv_1 dv_2}, \quad (5)$$

где ρ_{TB} – спектральная плотность изображения видеокadra, области D_0 и $R \setminus D_0$ задаются согласно рис. 5.

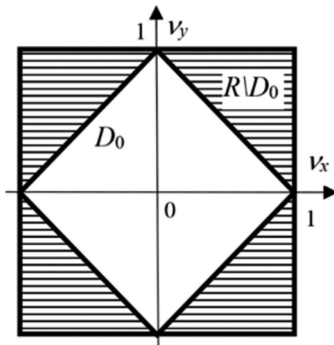


Рис. 5. Области существования спектральной плотности полезного сигнала видеокдра D_0 и ВЧ шума $R \setminus D_0$

Сравнение методов оценки чувствительности видеокамер

Многочисленные эксперименты по выбору показателя для оценки чувствительности видеокамер на реаль-

ных изображениях видимого диапазона [12] показали, что изменению освещенности сцены в различных суточных и сезонных условиях съемки, особенно перед наступлением темноты, наилучшим образом соответствует показатель ОСШ SNR_{TB} , рассчитываемый по формуле (5). На рис. 6 приведены результаты расчётов ОСШ SNR_{TB} для нескольких последовательностей видеокдра, полученных в ясных погодных условиях (для исключения влияния сложных метеословий), в разное время года и в разное время суток. Из рис. 6 видно, что непосредственно перед наступлением темноты ОСШ SNR_{TB} начинает резко падать, что отражает уменьшение величины полезного сигнала, формируемого видеокамерой в темное время суток, при фиксированной чувствительности видеокамеры.

В качестве примера для сравнения в табл. 1 приведены данные оценки чувствительности по изображениям с разным уровнем полезного сигнала (см. рис. 1 и 2) рассмотренными выше методами: по контрасту изображения K (1), по ОСШ SNR (2) и по ОСШ SNR_{TB} (5).

Из табл. 1 видно, что при применении автоматических регулировок контраста (в данном случае автотона) контраст (1) практически равен 100 % и не отслеживает изменение чувствительности видеокамеры, как отмечалось выше. Показатель SNR , рассчитанный по статистическим характеристикам изображений (2), в данном случае практически не меняется независимо от уровня сигнала и автоматических регулировок контраста, а показатель SNR_{TB} , рассчитанный по спектральной плотности видеосигнала (5), дает наиболее адекватный уровень сигнала результат вне зависимости от автоматических настроек.

Полученные экспериментальные результаты дают основания предложить показатель SNR_{TB} в качестве основы для оценки чувствительности видеокамер.

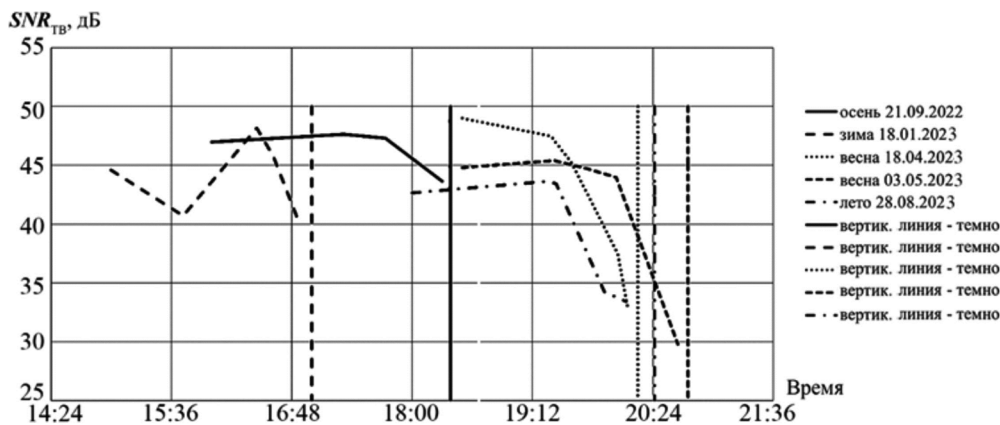


Рис. 6. Изменение ОСШ SNR_{TB} камеры видимого диапазона в разное время суток и года

Таблица. 1. Сравнительная оценка чувствительности видеокамер по разным показателям

№ п/п	Изображение	Особенности	K , %	SNR	SNR_{TB} , дБ
1.	Рис. 1, а	Без коррекции	79,61	2,83	38,22
2.	Рис. 1, б		20,40	2,81	34,97
3.	Рис. 1, в		6,27	2,88	26,0
4.	Рис. 2, а	С автотоном	99,61	2,69	37,83
5.	Рис. 2, б		99,61	2,61	34,43
6.	Рис. 2, в		99,21	2,87	25,95

Заключение

Предложен метод оценки чувствительности видеокамер в спектральной области на основе вычисления ОСШ по распределению спектральной плотности мощности сигнала и шума в реальных видеоизображениях. Эксперименты с реальными данными показали, что в сравнении с другими методами оценки чувствительности, например, по контрасту и по ОСШ, вычисляемому по статистическим характеристикам изображений, предложенный метод дает более адекватные оценки изменения ОСШ в различных условиях.

Аппаратная реализация алгоритма вычисления ОСШ (5), как элемента видеосистемы, интегрированного в видеокамеру, позволит правильно определять уровень снижения ОСШ ниже некоторого экспериментально определённого порога для определения момента автоматического включения режима повышенной чувствительности, например, на основе биннинга с восстановлением пространственного разрешения [4], что позволит расширить диапазон условий применимости видеокамеры при снижении освещённости в тёмное время суток.

Полученные результаты являются предварительными и требуют дальнейших исследований, особенно в части аппаратной реализации. Но уже сейчас можно утверждать, что они могут служить надёжной основой для совершенствования камер в различных условиях видеонаблюдения.

Литература

1. Будзинский Н.В., Зайцев А.Г., Гонта А.С., Михайлов А.А. Основные параметры видеокамеры. Методическое пособие по системам охранного телевидения. URL: <https://mip-sb.ru/info/camera-recorder/> (дата обращения 2024.02.23).
2. Способы улучшения чувствительности камер видеонаблюдения. Настройка видеонаблюдения. 15, август, 2019. URL: <https://zapishevse.ru/sposoby-uluchsheniya-chuvstvitelnosti-kamer-videonablyudeniya/> (дата обращения 2024.02.23).
3. Методика измерения отношения сигнал/шум каналов с аналоговой и цифровой модуляцией приборами серии ИТ-08 и мини-ИТ. ООО «Планар». 2015.
4. Дрынкин В.Н. и др. Метод повышения чувствительности видеокамер на основе биннинга с восстановлением пространственного разрешения. Цифровая обработка сигналов. 2020. №4. С. 58-63.
5. Голиков Е. Н. Измерение характеристик шумов и отношения Сигнал/шум в телевизионных изображениях с использованием программных средств. URL: https://storage.tusur.ru/files/8629/TU-1203_Измерение_характеристик_шумов_и_отношения_сигнал_шум_в_телевизионных_изображениях_с_использованием_программных_средств.pdf (дата обращения 2024.02.23).
6. Старк К. Отношение сигнал/шум: осмысление, измерение, улучшение (часть 1). 5, апрель, 2010. URL: <http://realsky.ru/articles/astrophotography/отношение-сигналшум-осмысление-измерение-улучшение-часть-1-r278/> (дата обращения 2024.02.23).
7. Fan et al. Brief review of image denoising techniques. Visual Computing for Industry, Biomedicine, and Art. 2019, 08 July. 12 p. URL: <https://doi.org/10.1186/s42492-019-0016-7> (дата обращения 2024.02.23).
8. Катулев А.Н., Храмичев А.А., Ягольников С.В. Цифровая обработка 2D слабоконтрастных изображений, формируемых оптико-электронным прибором в сложных фоноцелевых условиях. Обнаружение, распознавание, сопровождение динамических объектов. Монография. М.: Радиотехника, 2018. 408 с.
9. Ярославский Л.П. Введение в цифровую обработку изображений. М.: Сов. Радио, 1979. 312 с.
10. Мальцев Г.Н. Выбор режима регистрации изображений в оптических информационных системах с матричными фотоприемниками. Информационно-управляющие системы. 2004. №2. С. 2-5.
11. Дрынкин В.Н. Разработка и применение многомерных цифровых фильтров. М.: ФГУП «ГосНИИАС». 2016. 180 с.
12. Горбачев В.А., Гродзицкий Л.В., Данилов С.Ю. и др. БД № 2023621349 База данных регистрации объектов, полученных с использованием программных имитаторов распределенного мониторинга на основе группы беспилотных летательных аппаратов с целевыми полезными нагрузками в видимом, инфракрасном и радиолокационном диапазонах, заявл. 11.04.2023, опубл. 27.04.2023.

ООО «Лаборатория Сфера»

Наша компания успешно занимается научными исследованиями и разработками в области связи, цифровой обработки сигналов и помехоустойчивого кодирования. Мы реализуем проекты в области радиосвязи, мобильной связи, радиодоступа, цифрового вещания и оборудования для электромобилей.

Основные направления деятельности нашей компании:

Разработка ПО. Разрабатываем специализированное компьютерное программное обеспечение.

Разработка для ПЛИС. Разрабатываем сложные функциональные блоки цифровой обработки сигналов.

Научные исследования. Проводим исследования в области интересующих Вас задач.

Разработка решений в области связи. Решаем поставленные Вами задачи в области связи, радиодоступа и телерадиовещания.

Действия с интеллектуальной собственностью. Осуществляем проведение патентных исследований, составление заявок на патенты на изобретения и полезные модели, а также на свидетельства на программы для ЭВМ и баз данных.

Обучение пользователей. Проводим обучающие семинары и тренинги. При необходимости возможно проведение углубленного повышения квалификации.

Консультации. Осуществляем консультативную деятельность в области компьютерных технологий и систем связи.

Контакты:

Адрес: 390000, г. Рязань, ул. Каширина, д.1 т, второй этаж, офис 1

Тел.: +7(995)540-75-03

E-mail: info@labsphera.ru

Сайт: <https://labsphera.ru/>

Наши клиенты: ООО «Т8», АвтоВАЗ, LADA Sport,

ООО «ЗВ-Сервис», ООО «Цифровые решения»,

ООО «НПФ «Сад-Ком», ООО НПФ «ТЕПЛОВОДОХРАН»,

ООО «Силовая электроника», МТУСИ, МФТИ и др.

